

Croissance et nutrition minérale de la canne à sucre au cours de repousses successives

Pablo Cruz, Patrice Guillaume

Le diagnostic foliaire sur canne à sucre a révélé des niveaux d'absorption de l'azote décroissants à mesure que la plantation vieillit, quelle que soit la dose d'engrais fournie [1] et cela en dépit d'une bonne alimentation en eau de la culture. En Guadeloupe, ce phénomène se manifeste généralement à partir de la deuxième repousse et semble spécifique aux sols argileux gonflants (vertisols) de Grande-Terre ; en effet, il n'est pas observé sur les sols ferralitiques de Basse-Terre. Une telle réponse décroissante à la fertilisation azotée a été signalée par d'autres auteurs [2]. Les raisons avancées pour rendre compte de ces observations sont, d'une part, les pertes possibles de l'engrais annuellement apporté, par volatilisation ou ruissellement sur le paillis de feuilles, et, d'autre part, le tassement avec la réduction de la mise à disposition de l'eau et des éléments nutritifs dissous dans la solution du sol. Ces pertes ont été évaluées en Australie entre 40 et 60 % du total d'azote apporté au sol par les engrais [3].

Des modalités d'apport de l'azote différentes de celles habituellement employées (dilution des éléments fertilisants dans l'eau d'irrigation par exemple, ou décompactage du sol) pourraient apporter une réponse à ce problème.

Il convient préalablement de préciser la dynamique d'absorption de l'azote par la plante. Nous proposons d'établir un diagnostic du niveau de nutrition azotée au moyen de la construction de « courbes de dilution », mettant en relation le degré de croissance du couvert (exprimé par la matière sèche accumulée) avec sa teneur totale en azote. Cette expression intègre la réduction de la teneur en azote intrinsèquement liée à la croissance et celle due au phénomène d'auto-ombrage par le couvert (compétition pour la lumière), ce qui permet de corriger la surestimation de rendement fondée sur des diagnostics foliaires appliqués à des peuplements peu denses ou ayant un faible tallage.

Cette méthode a été d'abord utilisée sur des peuplements fourragers [4] et ensuite testée sur un grand nombre de cultures [5]. Elle offre la possibilité d'établir un diagnostic du niveau de nutrition azotée d'un peuplement végétal par comparaison avec une courbe de référence traduisant une alimentation non limitante en azote. Cette courbe de référence, qui a été déterminée empiriquement sur d'autres espèces en C_4 [6], devrait être testée sur la canne à sucre. Elle a la forme $N \% = \alpha (MS)^{-\beta}$ [5] où MS est exprimé en tonnes de matière sèche par hectare, α étant le potentiel de teneur en azote (3,6 pour les plantes en C_4 [6]) et

β le coefficient de dilution ($-0,34$ [6]). Les courbes ainsi établies devraient permettre de mieux décrire les effets des différents traitements (fertilisation, âge de la repousse, etc.) sur la nutrition azotée de la canne à sucre, en faisant la part entre les variations dues à la disponibilité en azote et celles provenant de l'accumulation de biomasse dans la culture. Une relation du même type peut être utilisée dans le diagnostic de la nutrition phosphopotassique [7].

L'objectif de ce travail est double. Sur un plan cognitif, il s'agit de tester la méthode sur une espèce nouvelle dans le but de valider ou non la relation décrite pour les autres espèces en C_4 . Sur un plan plus appliqué, il faut préciser si le problème de malnutrition azotée de la canne à sucre réside intrinsèquement dans la plante ou procède de facteurs liés au milieu. Dans le premier cas, toute amélioration de la production nécessiterait prioritairement des recherches sur la physiologie et la génétique de l'espèce. Dans le second cas, l'amélioration des rendements passerait principalement par le maintien ou la restitution des bonnes conditions physicochimiques du sol.

Matériel et méthodes

Les essais ont été implantés sur des parcelles destinées à la monoculture de la canne.

La variété Co 6415 a été cultivée dans deux sites aux sols ayant des propriétés physicochimiques très différentes. À Gar-

P. Cruz : INRA, Station d'agronomie, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan, France.
<cruz@toulouse.inra.fr>

INRA, Unité agropédoclimatique de la zone Caraïbe, BP 515, 97165 Pointe-à-Pitre cedex, Guadeloupe, France.

P. Guillaume : CIRAD-CA, Station de Roujol, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, France.

<guillaume.p@cirad.fr>

Tirés à part : P. Cruz (INRA, Toulouse).

Tableau 1

Conditions des expériences sur cultures de canne à sucre

Localisation et type de sol	Âge de la canne	Azote apporté (Unités.ha ⁻¹)			Objectif recherché
CIRAD-CA Roujol Basse-Terre Sol ferralitique	Canne « vierge » (V)	0 N	150 N	300 N	Validation de courbes de référence pour une canne bien alimentée, jeune et sur sol réputé non limitant
Gardel Grande-Terre Vertisol	Repousse 1 (R1)	0 N	75 N	150 N	Recherche de courbes de dilution sur une jeune canne recevant des doses croissantes d'azote (150 unités supposées non limitantes)
Gardel Grande-Terre Vertisol	Repousse 5 (R5)	0 N	75 N	150 N	Recherche de courbes de dilution sur une canne âgée supposée avoir des carences dans la nutrition azotée

Experimental conditions for sugarcane crops

del (est de la Grande-Terre, sur sols vertiques), deux cultures différenciées par leur âge (première R1 et cinquième repousse R5) ont été étudiées avec trois niveaux d'apport d'azote minéral. Une troisième culture, mise en place sur sol ferralitique à Roujol-Petit-Bourg (Basse-Terre), a été suivie à trois niveaux de fertilisation azotée pendant l'année d'implantation (canne « vierge » ou V). Cette dernière culture doit servir de référence pour l'établissement de la courbe correspondant au potentiel de nutrition azotée de la canne dans de bonnes conditions de sol et de fumure azotée. Les 9 situations étudiées (3 âges × 3 niveaux de fertilisation) sont détaillées dans la *tableau 1*.

Le dispositif expérimental, identique dans tous les sites, comprend des blocs randomisés avec cinq répétitions par traitement, soit 15 parcelles pour chacune des trois modalités. Chaque parcelle est composée de 3 lignes utiles de 8 m de longueur entourées de 2 rangées de bordure et séparées des parcelles contiguës par des allées de 1,60 m de largeur. L'engrais azoté a été appliqué en deux temps sous forme d'urée (dosée à 46 %). La moitié de la dose (*tableau 1*) a été apportée à la plantation de la canne « vierge » (Roujol), ou juste après la coupe dans le cas de repousses (Gardel) ; un deuxième apport a été réalisé 45 jours plus tard. Toutes les parcelles ont reçu par ailleurs une fertilisation de base de 60 unités par hectare de P (sous forme

de phosphate supertriple dosé à 48 %) et 180 unités par hectare de K (sous forme de sulfate de potassium dosé à 45 %). Tous les apports d'engrais ont été réalisés manuellement.

Tous les sites d'essai ont été équipés de systèmes d'irrigation. Sur la station de Roujol, un système de couverture totale en aspersion a permis de maintenir la culture à 100 % de l'ETM. Sur les parcelles de Gardel, un réseau de goutte-à-goutte comprenant une ligne de goutteurs par rang de canne a été installé. Chaque rampe porte un goutteur débitant 2 l/h à intervalle régulier de 0,75 m. La dose horaire ainsi fournie aux cultures est égale à 1,62 mm/h. Le pilotage des irrigations sur Gardel a été calqué sur celui d'un essai de détermination du potentiel productif de plusieurs variétés en absence de stress hydrique mis en place sur une parcelle voisine [8]. Cette méthode est fondée sur le suivi permanent des variations d'épaisseur de couches de sol colonisées par les racines, indicatrices des transferts hydriques qui s'y produisent, mesurées au moyen de capteurs de déplacement THERESA [9]. Le désherbage chimique des cultures a été effectué selon les modalités standard recommandées sur la canne à sucre (Gésapax, Certrol + 2,4 D à la dose de 2 l/h). Les traitements se sont révélés efficaces à l'exception des parcelles en cinquième repousse à Gardel où un complément de désherbage fut réalisé manuellement.

Les expériences ont été conduites et analysées selon la méthodologie exposée dans l'*encadré*.

Résultats et discussion

Production de matière sèche et efficience de conversion de la culture

Les résultats obtenus sur les différents sites de mesures (*tableau 2*) montrent une bonne correspondance entre l'efficience de conversion (Eb) calculée sur les premiers mois de croissance de la canne et le rendement mesuré sur les différents traitements à la fin du cycle de croissance. On observe un effet « âge » et un effet « dose d'azote », avec un effet négatif de l'âge des repousses sur l'Eb et le rendement final de la canne à sucre à Gardel, marqué en l'absence de fertilisation azotée. Ainsi la valeur d'Eb des cultures en R5 est de 49, 30 et 29 % inférieure à celles en R1 pour les doses de 0, 75 et 150 kg d'azote par hectare respectivement. Ces différences s'accroissent pour la récolte finale de canne usinable, la réduction du rendement de R5 par rapport à R1 étant de 52, 44 et 41 % pour ces mêmes doses d'azote. Il semble que la réponse à l'apport d'azote ne soit pas la même selon l'âge de la culture : sur les parcelles R1, l'effet de l'azote est moindre (significatif seulement au niveau 150 N/ha). Sur canne V, il existe un accroissement du rendement pour la dose de 150 N/ha, sans effet supplémentaire à 300 N/ha en fin de cycle.

Malgré l'irrigation et une pluviométrie naturelle élevée, les rendements obtenus dans cette expérimentation sont d'un niveau très moyen, comparables à ceux obtenus en culture pluviale. En revanche, les valeurs d'Eb pour les fortes fertilisations sont supérieures à celles rapportées par d'autres auteurs sur la canne à sucre en Guadeloupe [11] ou ailleurs [12]. Ces valeurs élevées d'Eb résultent de calculs effectués au cours de la période de croissance antérieure à la fermeture du couvert, période pendant laquelle l'incertitude dans l'estimation de l'efficience d'interception du rayonnement solaire est la plus grande en raison des IF faibles. Ainsi toute sous-estimation de l'efficience d'interception peut se traduire par une surestimation importante de l'efficience de conversion.

Méthodologie des essais

On a prélevé la totalité des parties aériennes de 50 à 80 cannes par traitement (soit 10 à 16 tiges par parcelle élémentaire) à intervalles de 2 semaines tout au long de la période de développement foliaire de la culture. Cette série de points de mesure s'étend depuis le début de la repousse jusqu'à l'âge de 5 mois, époque à laquelle le maximum de développement de la superficie foliaire active devrait normalement être atteint [10].

Suivant le rythme de croissance propre à chaque culture, on a procédé à un nombre variable de prélèvements :

- 8 dates dans l'intervalle 3 à 5 mois sur canne plantée à Roujol (V) ;
- 7 dates dans la période de 2 à 4,5 mois sur canne de première repousse à Gardel (R1) ;
- 9 dates dans la période de 2 à 5,5 mois sur canne de cinquième repousse à Gardel (R5).

Pour chaque parcelle et chaque date, la longueur du rang sur laquelle les tiges ont été prélevées a été mesurée. Ainsi toutes les données de biomasse ont pu être rapportées à la surface de sol calculée à partir de cette longueur et de l'écartement entre rangs (1,65 m).

Sur les échantillons prélevés, un tri est effectué pour séparer feuilles et tiges. Ces organes ont été coupés en morceaux et pesés après passage à l'étuve à une température de 90 °C pendant 48 heures au moins. La somme des deux organes donne la biomasse totale qui, exprimée en g/m², est utilisée dans le calcul de l'efficacité de conversion de la culture (Eb). La valeur de cette efficacité est donnée par la valeur de la pente qui relie la biomasse aérienne récoltée (MS) à la quantité de rayonnement utile à la photosynthèse (PAR) intercepté par la culture. L'expression utilisée est :

$$Eb \text{ (g/MJ}^{-1}\text{)} = MS \text{ (g/m}^2\text{)} / \Delta PAR_i \text{ (MJ/m}^2\text{)}$$

La somme de rayonnement intercepté au cours de la période de croissance étudiée a été calculée par addition des valeurs journalières à partir du jour « 0 » jusqu'au dernier prélèvement :

$$\Delta PAR_i = \Delta [PAR \times 0,95 (1 - e^{-k \times IF})]$$

Où :

PAR_i est le PAR journalier intercepté, PAR le PAR journalier incident, IF l'indice foliaire de la culture pour un jour donné et *k* : le coefficient d'extinction d'une culture de canne à sucre = 0,59 [11].

L'indice foliaire a été calculé à partir de la biomasse foliaire mesurée (MSf) et la masse surfacique (ms) des limbes :

$$IF = MSf \text{ (g/m}^2\text{)} \times ms \text{ (g/m}^2\text{)}$$

La masse surfacique a été estimée pour chaque date et chaque traitement à partir de la surface et du poids sec d'un sous-échantillon de limbes faisant au moins 2 000 cm² pour les deux premières dates et 5 000 cm² pour les suivantes. Entre deux dates de prélèvement les valeurs journalières d'IF ont été estimées par interpolation linéaire.

La valeur de PAR (MJ/m²) journalier a été obtenue selon la relation :

$$PAR = 0,48 \text{ (rayonnement global ou } R_g \text{) [11]}$$

Le R_g journalier sur le site de Gardel a été mesuré par une centrale météorologique (CIMEL) très proche du site expérimental. À Roujol, l'installation tardive et le dysfonctionnement d'un pyranomètre n'ont pu fournir les données de PAR nécessaires au calcul de Eb sur la période de croissance des cannes plantées (V).

Sur tous les échantillons de feuilles et tiges, les teneurs en azote, phosphore et potassium ont été déterminées après broyage d'un sous-échantillon. Pour l'utilisation du diagnostic de la nutrition minérale par la méthode dite des courbes de dilution, les teneurs en éléments nutritifs de la biomasse totale ont été reconstituées, pour chaque date et chaque traitement, à partir des rapports feuilles/tiges et des teneurs respectives de chaque organe. Les dosages d'azote ont été effectués par colorimétrie après minéralisation Kjeldahl, et par spectrométrie d'absorption atomique pour les autres éléments. Suivant l'argumentation présentée dans l'introduction, l'analyse du degré de nutrition minérale a été réalisée selon la méthode des courbes de dilution [4-6].

À la fin du cycle de croissance, la totalité de la surface restante de chaque parcelle unitaire a été récoltée et la masse de tiges usinables exprimée en tonnes par hectare, fournissant ainsi une estimation du rendement final de tous les traitements.

Assay methodology

Diagnostic de la nutrition azotée de la culture

Nutrition non limitante : comparaison avec la référence des plantes en C₄

En comparant les données sur la canne avec la courbe critique décrite pour d'autres espèces en C₄ en absence de déficit de nutrition azotée, on observe dans la *figure 1* les courbes de dilution correspondant aux niveaux de nutrition les plus élevés (traitements ayant reçu 150 unités pour la repousse 1 sur des vertisols et 150 et 300 unités sur la canne vierge en sol ferralitique). Ces courbes sont comparées à la courbe de référence obtenue pour d'autres espèces en C₄ [6], supposée représenter un niveau de nutrition non limitant pour la croissance d'un couvert de graminées tropicales. Les valeurs des coefficients α et β des courbes de dilution de l'azote ainsi que la valeur du coefficient de corrélation (*r*²) des ajustements ont été rassemblés dans le *tableau 3*.

Les courbes obtenues dans les trois situations (*figure 1*) sont presque superposées, ce qui signifie un niveau de nutrition azotée identique. L'augmentation de la dose d'azote de 150 à 300 unités/ha n'augmente pas la production de la culture V, ce qui indique que le niveau

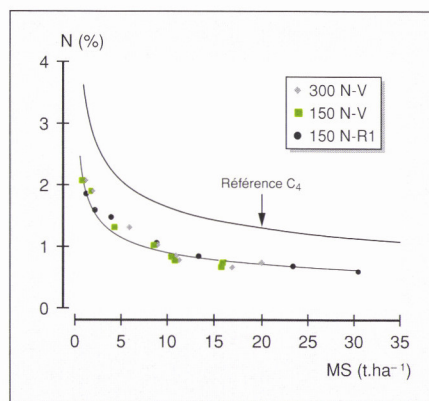


Figure 1. Courbes de dilution de l'azote des cultures de canne à sucre ayant reçu une forte fumure azotée, comparées à la courbe de référence pour les espèces en C₄ (d'après Cruz et Lemaire) [6].

300 N-V et 150 N-V : cultures vierges recevant 300 ou 150 kg d'azote par hectare par an ; 150 N-R1 : repousse de première année recevant 150 kg d'azote par hectare par an ; référence C₄ : % N = 3,6(MS)^{-0,34}.

Figure 1. Critical N% curves of sugarcane crops with high N fertilization compared to the reference curve for C₄ species.

Tableau 2

Production de biomasse ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) et efficacité de conversion (Eb) du rayonnement intercepté ($\text{g} \cdot \text{MJ}^{-1}$) pour cultures de canne à sucre

Unités $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$	0			75		150			300
Traitement	R1	R5	V	R1	R5	R1	R5	V	V
Eb ($\text{g} \cdot \text{MJ}^{-1}$)	3,75	1,91	–	3,71	2,61	4,37	3,1	–	–
ET	0,16	0,17	–	0,44	0,36	0,53	0,21	–	–
r^2	0,92	0,98	–	0,94	0,79	0,73	0,89	–	–
Rendement ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	78,7	38,0	66,1	75,6	42,6	82,0	48,7	78,6	75,6

ET : écart type ; r^2 : coefficient de corrélation.

Yield ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) and radiation use efficiency ($\text{g} \cdot \text{MJ}^{-1}$) of sugarcane crops

Tableau 3

Valeurs des coefficients α (teneur en azote initiale) et β (dilution de l'azote au cours de la croissance) des différents traitements étudiés et pour les espèces en C_4 (d'après Cruz et Lemaire [6])

Unités $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$	0			75		150			300	Réf C_4
Traitement	R1	R5	V	R1	R5	R1	R5	V	V	
Coefficient α	1,65	1,04	1,32	1,98	1,25	2,17	1,72	2,12	1,87	3,60
Coefficient β	-0,37	-0,37	-0,27	-0,36	-0,40	-0,36	-0,44	-0,39	-0,32	-0,34
r^2	0,93	0,90	0,92	0,85	0,80	0,97	0,90	0,95	0,93	

r^2 : coefficient de corrélation.

α and β coefficients (initial N concentration and N decrease during growth) for the studied sugar cane crops and for C_4 species

optimal de nutrition azotée est atteint dès 150 unités/ha, conformément aux analyses par diagnostic foliaire (DF) [1]. Cette courbe (qui désigne le niveau de nutrition azotée non limitant chez la canne à sucre) est très inférieure à la référence d'autres espèces en C_4 . La limitation de réponse de la canne pourrait résulter d'un facteur ayant limité l'absorption d'azote ou correspondre à un potentiel effectivement inférieur à celui des autres espèces en C_4 . Cette différence pourrait résulter du grand écart entre valeurs de masse surfacique foliaire entre la canne (toujours supérieure à 80 g/m^2) et les autres espèces étudiées (inférieure à 40 g/m^2 dans des conditions non limitantes). Cette observation est en accord avec les teneurs en azote dans la matière sèche des feuilles qui atteignent 2 % chez la canne, contre un potentiel de 3,6 % pour d'autres espèces en C_4 [6, 13]. Dans nos essais, la teneur en azote de l'ensemble des limbes atteint 2 % (pour les traitements fertilisés ou chez une canne très jeune ayant moins de

2 mois de repousse) avec une accumulation de biomasse rarement supérieure à 1 t/ha de matière sèche. Cette différence ne permettrait pas la comparaison entre la canne et les autres espèces sur base de la relation entre l'azote et la biomasse accumulée par le couvert. Dans ce cas, l'expression de la quantité d'azote par unité de surface foliaire [14] serait plus appropriée. Une teneur moyenne en N surfacique pour les différents traitements peut être calculée à partir des teneurs massiques en N de l'ensemble des limbes et de leur masse surfacique moyenne. Si la teneur surfacique est calculée pour des stades de développement jeunes en absence de sénescence foliaire (IF compris entre 2 et 3), on obtient des valeurs comprises entre 1,5 et $1,7 \text{ g d'azote par m}^2$ de limbes pour les trois traitements de la figure 1, valeurs très proches de celles citées comme étant optimales chez les espèces en C_4 [14-16]. Les courbes de dilution rendent cependant bien compte des différents niveaux de nutrition azotée et peuvent donc être uti-

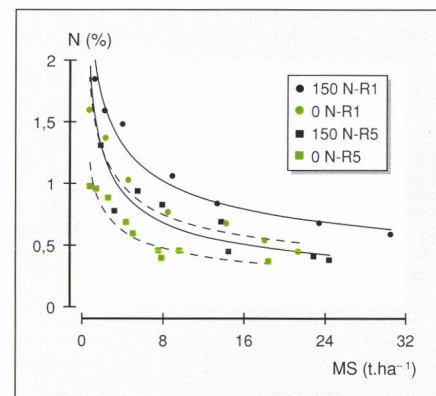


Figure 2. Effet de l'âge de la culture et de la dose d'engrais azoté sur le niveau de nutrition en N de la canne à sucre.

150 N-R1 et 0 N-R1 : repousses de première année recevant 150 ou 0 kg d'azote par hectare par an ; 150 N-R5 et 0 N-R5 : repousses de cinquième année recevant 150 ou 0 kg d'azote par hectare par an.

Figure 2. Effect of crop age and rate of nitrogen supply on the nitrogen nutrition level of sugarcane crops.

lisées à l'intérieur de l'espèce comme outil de diagnostic dans l'étude de l'effet des facteurs du milieu sur la nutrition azotée.

Niveaux de nutrition azotée en fonction de l'âge de la repousse et de la dose d'engrais apportée

L'effet de l'âge (figure 2) est déduit des différences entre les deux courbes d'un même niveau de fertilisation. La nutrition d'une canne âgée (R5) recevant 150 unités d'azote correspond à celle d'une culture jeune (R1) ne recevant aucun apport. L'efficacité d'utilisation de l'engrais semble être indépendante de l'âge de la culture (l'écart entre courbes 0N et 150N et similaire pour R1 et R5), la part de l'azote fournie par le sol étant moindre en R5. Le déficit de nutrition azotée observé sur une culture âgée serait donc lié au milieu et non aux capacités de prélèvement par la plante.

Diagnostic de la nutrition phosphopotassique

Pour les vertisols, les niveaux de nutrition azotée des traitements R1 sans apport d'engrais et R5 avec 150 unités d'azote/ha sont très voisins (figure 2). Mais cette similitude ne se traduit ni en termes d'efficacité de conversion de l'énergie (tableau 3) ni en termes de ren-

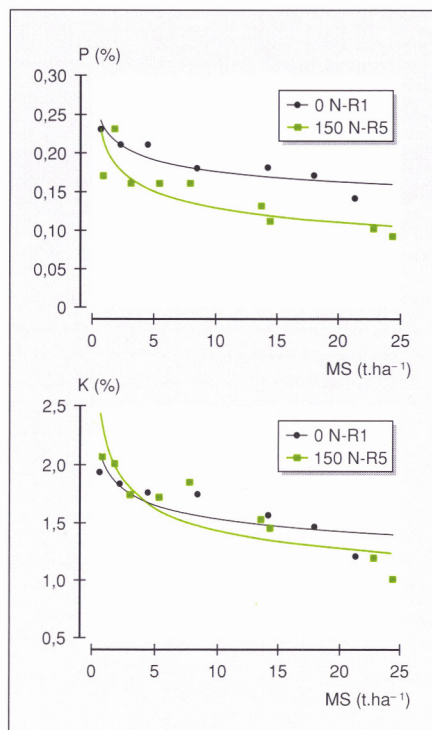


Figure 3. Nutrition en P et K de cultures de canne ayant un niveau de nutrition azotée équivalent malgré des apports d'engrais azoté différents.
0 N-R1 : repousse de première année recevant 0 kg d'azote par hectare par an ; 150 N-R5 : repousse de cinquième année recevant 150 kg d'azote par hectare par an.

Figure 3. P and K nutrition of sugarcane crops with similar nitrogen nutrition levels despite different N supply rates.

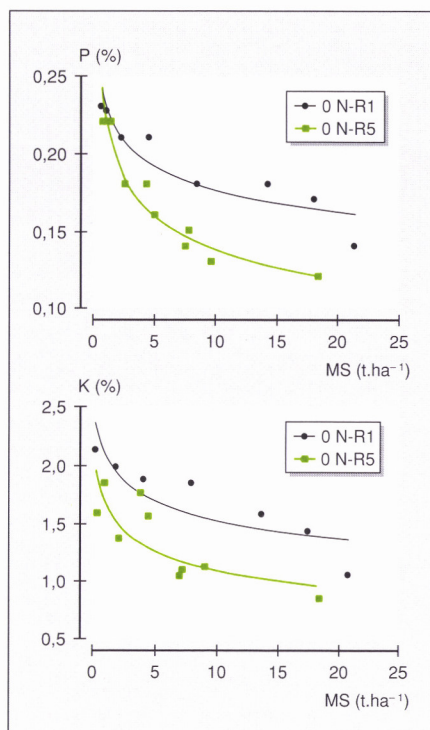


Figure 4. Effet de l'âge de la culture sur la nutrition en P et K de la canne à sucre sur vertisol.
0 N-R1 : repousse de première année recevant 0 kg d'azote par hectare par an ; 0 N-R5 : repousse de cinquième année recevant 0 kg d'azote par hectare par an.

Figure 4. Effect of crop age on P and K nutrition of sugarcane growing on dark clay soils.

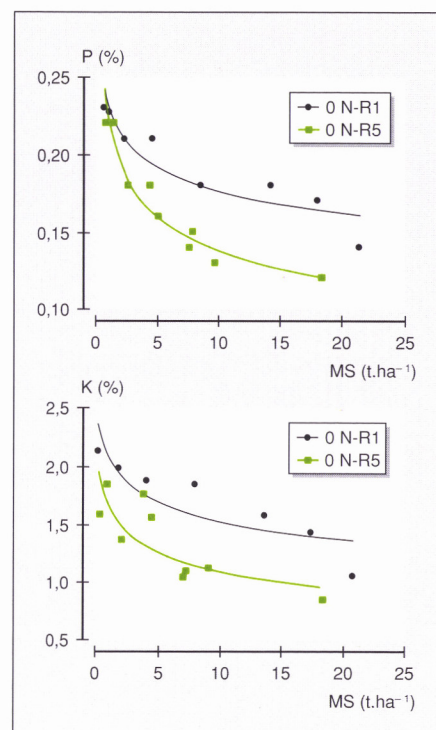


Figure 5. Effet de la fumure azotée sur la nutrition en P et K de la canne à sucre sur vertisol.
150 N-R1 et 0 N-R1 : repousses de première année recevant 150 ou 0 kg d'azote par hectare par an.

Figure 5. Effect of N supply rates on P and K nutrition of sugarcane growing on dark clay soils.

dement en canne (79 t/ha sur R1 sans azote et 49 t/ha sur R5 avec 150 unités). La *figure 3* montre les niveaux de nutrition en phosphore et potassium ajustés suivant une fonction de puissance négative (comme pour la dilution de l'azote) [7]. Pour des niveaux de nutrition azotée voisins, la nutrition en P et K de R5 est inférieure à celle de R1 (fort effet de l'âge sur l'absorption).

La *figure 4* montre que le manque de disponibilité en P et K dans le milieu est patent pour les traitements R1 et R5 ayant une fertilisation phosphopotassique identique.

Une forte interaction peut être observée entre la nutrition azotée et l'absorption de P et K : sur les parcelles R1, une fumure de 150 unités d'azote réduit le niveau de nutrition en P et augmente celui en K par rapport au traitement ne recevant pas d'azote (*figure 5*).

La comparaison entre vertisol et sol ferralitique est établie sur les résultats d'essais montrant des niveaux de nutrition azotée identiques (*figure 1*) avec des rendements du même ordre de grandeur (*tableau 2*). Les courbes de dilution du phosphore et du potassium dans ces deux situations sont présentées dans la *figure 6*. Pour un niveau de nutrition azotée, l'absorption de phosphore (et à un degré moindre du K) par la canne vierge sur sol ferralitique est très inférieure à celle observée sur vertisol en R1. L'offre en P et K semble être beaucoup plus élevée dans le vertisol que dans le sol ferralitique. Le potentiel de production en canne à Roujol est loin d'avoir été atteint dans cet essai, ce qui pourrait être expliqué par la moindre alimentation de la culture en P et K limitant l'effet de la fertilisation en azote.

Conclusion

Il est possible d'évaluer la nutrition de la canne au moyen des courbes de dilution de l'azote. Ceci ouvre des pistes intéressantes sur le plan cognitif en montrant la particularité des fortes masses surfaciques de la canne qui limitent la comparaison avec d'autres espèces en C_4 . De nouvelles formes d'expression seraient à envisager, comme la teneur surfacique en azote, qui semble être plus proche des valeurs obtenues pour d'autres espèces en C_4 . Cette expression n'évitera cependant pas le risque de surestimation du niveau de nutrition de la canne à sucre quand le diagnostic est réalisé sur des peuplements peu denses. Seule la relation % N-biomasse aérienne pourrait être considérée comme fiable dans ces situations. La méthode semble appropriée pour dia-

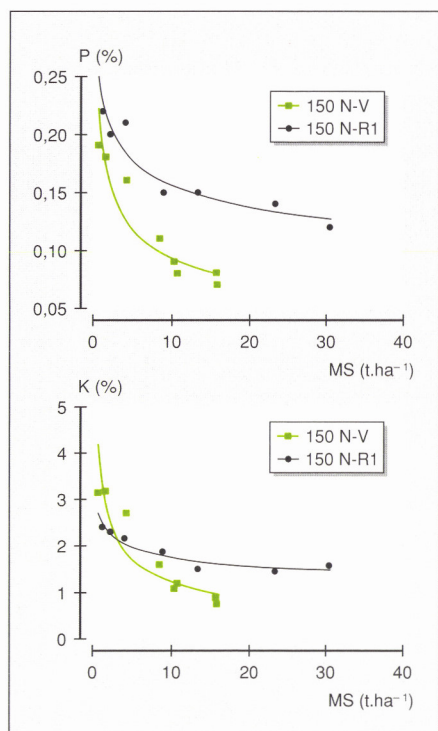


Figure 6. Effet du milieu (type de sol) sur la nutrition en P et K d'une culture de canne à sucre en conditions non limitantes en azote. 150 N-R1 : repousse de première année recevant 150 kg d'azote par hectare par an ; 150 N-V : culture vierge recevant 150 kg d'azote par hectare par an.

Figure 6. Effect of soil type on P and K nutrition of a sugarcane crop growing without nitrogen limitation.

agnostiquer les modifications de la nutrition minérale d'un peuplement de canne dans les expérimentations ayant pour objectif l'amélioration de la disponibilité en éléments nutritifs par des pratiques culturales.

Notre analyse met en évidence deux phénomènes pour lesquels d'autres expérimentations devraient être conduites. D'une part, la baisse de la nutrition azotée de la canne en cours de repousse ainsi que de sa réponse à l'apport d'engrais azoté sont bien liées aux propriétés du milieu et non à la capacité de la canne à prélever l'azote du sol. La biodisponibilité d'éléments nutritifs dans les vertisols dépend étroitement de leur porosité structurale, qui doit assurer un bon stockage et une bonne circulation d'eau, et d'une aération adéquate. Toute intervention au niveau de l'itinéraire technique de la culture, destinée à accroître le volume de cette porosité et/ou du moins à le maintenir au fil des

Summary

Growth and mineral nutrition of sugarcane under planting or ratoon cropping conditions

P. Cruz, P. Guillaume

Dry matter production of sugarcane and its response to nitrogen fertilization decrease with crop age. This seems particularly important in dark clay soils (vertisols). The present study was carried out: i) to test nitrogen nutrition assessments according to critical curves for % N [5] in sugarcane stands, and ii) to determine whether decreases in the response of sugarcane to mineral fertilizer could be linked to the physical environment (soil properties) or to inherent properties of the stand (ageing). Shoot biomass and mineral concentration (N, P and K) were measured in sugarcane stands growing at increasing N supply rates under two ratoon crop conditions – 1st (R1) and 5th (R5) years after planting – and in a newly planted stand (V). The R1 and R5 ratoon crops grew on dark clay soil at rates 0, 75 and 150 kg N/ha. The new crop (V) grew on ferralitic soil at rates of 0, 150 and 300 kg N/ha – the latter was considered non-limiting for N and taken as control (Table 1). Dry matter accumulation was measured (5 replications) over a 3-5 month period (7-9 harvests), according to growth rates in the different treatments, and total N, P and K concentrations in shoots were measured in each sample. Radiation use efficiency (RUE) was calculated over the same growth period for each stand. The N concentration was correlated with sugarcane dry matter to determine the stand N nutrition levels [5]. The treatment curves were compared, and then compared to the critical curve for potential growth of C_4 species [6]. Similar analyses were made to compare P and K nutrition levels between treatments.

As shown in Figure 1, the top N nutrition level was only attained in highly fertilized new crops (V-N300, V-N150 and R1-N150). The fitted curve for N% of sugarcane crops with high N fertilization is lower than the critical curve for C_4 species [6] (Figure 1), due to the very high specific leaf weight of sugarcane, which limits the nitrogen concentration in leaves when expressed on a dry matter basis. Expression of leaf N on an area basis ($g\ N/m^2$) is suggested when comparisons with other C_4 species are possible.

Dry matter accumulation and RUE were drastically decreased in ratoon crops (Table 2), due to the lower N nutrition level in the R5 stand (which required 150 kg N/ha to reach the same N nutrition level as R1 without any N supply) (Figure 2). RUE and final yield remained lower in R5, suggesting the presence of limiting factors other than N, i.e. possibly P and K nutrition which also remained lower in the R5 stand, thus explaining the final yield differences (Figure 3). Furthermore, a marked interaction between N, P and K nutrition was noted for R1 (Figure 5), along with the effect of age and soil type on the P% and K% (Figures 4 and 6). We concluded that the curves linking N% and crop biomass provide a satisfactory assessment of N nutrition levels within sugarcane crops. Further research on sugarcane production should focus more closely on P and K nutrition.

Cahiers Agricultures 1999 ; 8 : 101-7.

Références

1. Baran R. Diagnostic de la fertilité et de l'alimentation minérale des cultures de canne à sucre de Guadeloupe par analyses de sol et de feuilles. Campagne 1990-1991. Chambre d'agriculture de la Guadeloupe, CIRAD-CA, 1991 ; 17 p. + annexes.
2. Wiendenfeld R. Effects of irrigation and N fertilizer applications on sugarcane yield and quality. *Field Crops Res* 1995 ; 43 : 101-8.
3. Vallis I, Keating BA. Uptake and loss of fertilizer and soil nitrogen in sugarcane crops. *Proc Aust Soc Sugar Cane Technol* 1994 ; 16 : 105-13.
4. Lemaire G, Salette J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélève-

années, ne pourra que favoriser une gestion plus efficace et économe des ressources en eau tant artificielles (irrigation) que naturelles. Par conséquent, une meilleure valorisation des éléments nutritifs apportés par le sol ou par les engrais pourra être envisagée.

D'autre part, il existe une interaction très forte entre les éléments N, P et K, quel que soit l'âge de la culture. Il apparaît que la nutrition phosphopotassique peut être limitante dans les études sur l'irrigation et la fertilisation azotée de la canne à sucre ■

ments en azote. I. Étude de l'effet du milieu. *Agronomie* 1984 ; 4 : 423-30.

5. Lemaire G. *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Berlin : Springer Verlag, 1997 ; 239 p.

6. Cruz P, Lemaire G. Diagnosis of the nitrogen status of grass stands. *Trop Grassl* 1996 ; 1 : 166.

7. Duru M, Thelier-Huche L. N and P-K status of herbage : use for diagnosis of grasslands. In : Lemaire G, Burns IG, eds. *Diagnosis procedures for crop N managemnets*. Paris : INRA, 1997 : 125-38.

8. Guillaume P. *Gestion de l'eau sur canne à sucre en vertisol*. CIRAD-CA, Region Guadeloupe, 1994 ; 80 p.

9. Cabidoche YM, Ozier-Lafontaine H. THERESA. I. Matric water content measurements through thickness variations in vertisols. *Agric Water Manag* 1995 ; 28 : 133-47.

10. Fauconnier R, Bassereau D. *La canne à sucre. Techniques agricoles et production tropicales*. Paris : Éditions Maisonneuve et Larose, 1970 ; 468 p.

11. Varlet-Grancher C, Gosse G, Chartier M, Sinoquet H, Bonhomme R, Allirand JM. Rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. *Agronomie* 1989 ; 9 : 419-39.

12. Robertson MJ, Wood AW, Muchow RC. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Res* 1996 ; 48 : 11-25.

13. Henzell EF, Oxenham DJ. Variation in leaf-nitrogen concentration in two tropical grasses. *Com Soil Sci & Pl Analysis* 1973 ; 4 : 155-61.

14. Lemaire G, Plenet D, Grindlay D. Leaf N content as an indicator of crop N nutrition status. In : Lemaire G, ed. *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Berlin : Springer, 1997 : 189-99.

15. Sinclair TR, Horie T. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation-use efficiency : a review. *Crop Sc* 1989 ; 29 : 90-8.

16. Wood AW, Muchow RC, Robertson MJ. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. III. Accumulation, partitioning and use of nitrogen. *Field Crops Res* 1996 ; 48 : 223-33.

Résumé

La production d'une culture de canne à sucre ainsi que sa réponse à la fertilisation azotée décroissent au cours des années de production. En Guadeloupe (Antilles françaises) la magnitude du phénomène semble être plus importante sur des sols vertiques. Cette étude a été conduite dans le but de tester la validité du diagnostic de la nutrition azotée au moyen des courbes de dilution et de déterminer si l'éventuelle baisse du niveau de nutrition de la culture est intrinsèque à son vieillissement ou est due aux facteurs du milieu.

La croissance, l'efficacité de conversion de l'énergie solaire et la nutrition minérale de cultures, première et cinquième repousses recevant des doses croissantes d'engrais azoté sur vertisols, ont été suivies et comparées à celles d'une culture en sol ferrallitique. La cinétique de dilution de l'azote au cours de la croissance a une allure semblable à celle des autres peuplements cultivés mais, en raison de fortes masses surfaciques foliaires, la teneur en N optimale est inférieure quel que soit le degré de croissance de la culture. Les courbes ainsi établies peuvent servir à diagnostiquer le niveau de nutrition des différents traitements mais la teneur en azote surfacique est proposée comme étant une variable plus adaptée en cas de comparaison avec d'autres espèces en C₄. La baisse de la production et de l'efficacité de conversion de la canne en cinquième repousse est due à une moindre disponibilité d'azote dans le milieu, et des pratiques visant à augmenter la porosité structurale du sol devraient être testées. Une forte interaction entre nutrition azotée et nutrition phosphopotassique a été mise en évidence.